

*На правах рукописи*

ЩЕРБАКОВА Татьяна Анатольевна

**УСЛОВИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ МАГНЕЗИТОНАКОПЛЕНИЯ  
В ТЕРРИГЕННО-КАРБОНАТНЫХ КАЙНОЗОЙСКИХ  
КОМПЛЕКСАХ**

25.00.06 – Литология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

КАЗАНЬ - 2008

Работа выполнена в Федеральном государственном унитарном предприятии «Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых» (ФГУП «ЦНИИгеолнеруд»)

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,  
профессор Анатолий Иванович Шевелев

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,  
профессор Анатолий Иосифович Бахтин  
кандидат геолого-минералогических наук  
Куляш Мусабековна Седаева

Ведущая организация: Институт геологии Коми НЦ УрО РАН  
(г. Сыктывкар)

Защита состоится « 29 » мая 2008 г. в 14.00 часов на заседании Диссертационного совета Д212.081.09 в Казанском государственном университете по адресу: г. Казань, ул. Кремлевская, 4/5, КГУ, геологический факультет, ауд. 205.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского Казанского государственного университета

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения, просим присылать по адресу: 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18, КГУ, служба аттестации научных кадров, факс (843) 2387601.

Автореферат разослан «22 » апреля 2008 г.

Ученый секретарь

Диссертационного Совета Д212.081.09

доктор геолого-минералогических наук, доцент



Р.Р. Хасанов

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** В период подъема российской экономики своевременным и актуальным является изучение условий и закономерностей магнетитонакопления в кайнозойских комплексах, которые имеют ряд преимуществ: приповерхностное залегание рудоносных тел, не скальный (рыхлый) рудный материал, потенциально крупные запасы и прочее.

Потенциал России в магнезиальном сырье достаточно высок и позволяет обеспечить нашу промышленность в необходимом объеме, а также поставлять сырье и продукцию на мировой рынок, который весьма обширен, стабилен и постоянно развивается. Тем не менее, существуют определенные серьезные проблемы, связанные с особенностями размещения сырьевой базы, степенью ее изученности, способами добычи и технологиями переработки сырья, размещением перерабатывающих предприятий. Основная часть всех известных промышленных объектов (кристаллические магнезиты древних осадочных толщ) и прогнозных площадей находится в сложных геолого-экономических районах, значительно удаленных от основных потребителей, имеют сложные горнотехнические условия или низкое качество сырья, отсутствует инфраструктура и ряд других недостатков. Все это предопределяет необходимость укрепления и развития минерально-сырьевой базы магнезита.

За рубежом (Австралия, Америка, Сербия, Турция и др.), кроме кристаллических магнезитов древних осадочных толщ, разрабатываются месторождения магнезита кайнозойских комплексов, которые в России пока не известны.

Выявление закономерностей образования магнезитоносных кайнозойских комплексов, условий локализации в них магнезита позволит создать модель магнезитообразования в кайнозое, определить критерии магнезитоносности, на их основе - перспективность территории России на данный тип оруденения. Это предопределяет актуальность данной работы.

**Цель работы** заключается в изучении минерально-литологического состава кайнозойских терригенно-карбонатных комплексов, установлении закономерностей магнезитонакопления в них, выработке критериев и оценки территории России на этот генетический тип магнезитообразования.

**Задачи работы:** 1. Определить минерально-литологические особенности кайнозойских комплексов и приуроченность к ним магнезитов.

2. Установить источник рудного вещества и характер его концентрации.

3. Определить критерии магнезитоносности кайнозойских терригенно-карбонатных комплексов.

4. Определить перспективность территории Российской Федерации на кайнозойский магнезит.

**Фактический материал и методы исследования.** Геологический материал, положенный в основу диссертации, был собран автором в течение 1988-2007г.г. Значительная часть его систематизирована и проанализирована по литературным отечественным и зарубежным источникам, включая авторские переводы статей и личные беседы со специалистами, работавшими на объектах за рубежом (В.И. Финько, А.И. Шевелев.). Полевые исследования, при участии автора, проведены на Кимперсайском массиве Казахстана (карьеры Миллионный, Донской и др.), а также на территории Карачаево-Черкесской Республики (ЮФО) на площади Беденского массива. Фактический материал по кайнозойским озерным комплексам собран автором на озере Салда (Турция). Для изучения вещественного состава магнезитоносных и вмещающих комплексов в аккредитованных Госстандартом лабораториях АСТИЦ ФГУП «ЦНИИгеолнеруд» выполнено: 200 спектральных полуколичественных анализов на 34 элемента, 200 химических силикатно-карбонатных анализов; рентгеновский фазовый анализ (РФА) дезинтегрированных серпентинитов кор выветривания и литологических разностей осадочных рудоносных комплексов (более 100 анализов), электронно-микроскопическое изучение минеральных разностей

гипергенного и осадочного магнезита (более 50 проб), дифференциальный термический анализ (50 проб) минеральных типов рудного вещества; а также микробиологический анализ магнезитов (40 проб) – в центре аналитических исследований (ЦАИ) ГНУ «Татарский НИИСХ» РАСХН (г. Казань). Автором проведено петрографическое изучение рудоносных пород (150 шлифов).

### **Научная новизна.**

1. Впервые проведена генетическая классификация кайнозойских месторождений магнезита по способу и условиям образования.
2. Установлено, что источником магнезиального вещества являются серпентинизированные и амфиболизированные гипербазиты с развитой зоной магнезиальной карбонатизации в области гипергенеза.
3. Разработаны основные критерии оценки магнезитоносности кайнозойских осадочных комплексов.

**Практическая ценность.** Прделанная работа позволила создать модель магнезитообразования в кайнозойских терригенно-карбонатных комплексах, на ее основе выработать основные критерии магнезитоносности в молодых континентальных структурах и выделить потенциально-перспективные районы России для постановки ГРР.

### **Основные защищаемые положения**

**Положение 1.** Областью аккумуляции кайнозойских магнезитоносных комплексов являются бессточные впадины, сопряженные с гипербазитовыми массивами или наложенные на них.

**Положение 2.** Источником и субстратом магниевых минерально-геохимических композиций в кайнозойских осадочных комплексах служат коры выветривания серпентинизированных гипербазитов с развитой на них зоной магнезиальной карбонатизации.

**Положение 3.** Магнезиты приурочены к терригенно-карбонатным литологическим комплексам озерных и речных фаций.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 5 печатных работ.

**Апробация работы.** Основные результаты работ докладывались на Экспертном Совете секции черных металлов и нерудного сырья для металлургии МГ СССР (г. Сатка, 1987г.), на Всесоюзном совещании по магнезиальному сырью (ИГЕМ, г. Москва, 1988г.), на Региональной конференции «Геология и прогнозирование месторождений полезных ископаемых Восточной Сибири» (г. Иркутск, 1989г.), на Второй международной конференции «Промышленные минералы» (г. Москва, 2007г.). Внедрены «Рекомендации на оценку перспектив кайнозойских комплексов Украины на магнезит» (ПГО «Укргеология», г. Киев, 1988г.), «Рекомендации на оценку перспектив кайнозойских комплексов Читинской области на магнезит» (ПГО «Читагеология», г. Чита, 1989г.), «Рекомендации на оценку перспектив кайнозойских комплексов Западного Казахстана на магнезит» (ПГО «Запказгеология», г. Актюбинск, 1989г.), по которым проводились тематические работы в производственных организациях.

**Структура и объем работы.** Диссертация объемом 165 страниц состоит из введения, 7 глав, заключения, содержит 70 рисунков, 21 таблицу и список использованных источников 53 наименований.

**Работа выполнена** в отделе геологии неметаллических полезных ископаемых (ОГНПИ) Центрального научно-исследовательского института нерудных полезных ископаемых (ФГУП «ЦНИИгеолнеруд»).

Автор благодарен научному руководителю профессору А.И. Шевелеву за руководство, ценные замечания и плодотворное сотрудничество.

Благодарности автора адресованы также сотрудникам ЦНИИгеолнеруд – к.г.-м.н. Б.Ф. Горбачеву, д.г.-м.н. А.А. Озолу, к.г.-м.н. А.А. Сабитову, к.г.-м.н. Закировой Ф.А., зав. отделом экономики и маркетинга к.г.-м.н. П.П. Сенаторову, ученому секретарю к.г.-м.н. С.О. Зориной, к.г.-м.н. О.Б. Кузнецову за консультации и ценные советы, всему коллективу АТСИЦ ЦНИИгеолнеруд за своевременное и качественное проведение аналитических исследований, за помощь в применении компьютерных технологий – вед. инж. И.В. Лужбиной и инж. А.В. Кириллову.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обосновывается актуальность выбранной темы, ставятся цели и задачи исследования, приводятся объекты и методы исследования, рассматриваются научная новизна и практическая ценность работы. Приводятся основные положения, выносимые на защиту, кратко описывается структура и объем работы.

**Глава 1** посвящена геологической изученности кайнозойских магнетитоносных комплексов и содержащихся в них месторождений и проявлений магнетита по зарубежным объектам. На основе анализа литературных источников прослежена история изучения вещественного состава магнетитоносных и рудовмещающих толщ, начиная с первой половины прошлого столетия, со времени открытия кайнозойских месторождений магнетита в штате Невада (США). Литолого-минералогические, петрографические, фациальные, гидрологические и другие аспекты магнетитового оруденения среди молодых кайнозойских осадочных комплексов рассмотрены в работах Longwell (1928), Faust G., Callaghan D. (1948), Ilic M. (1959, 1968, 1974, 1976), Pavlovic S, Radukic G. (1959), Polachek J. (1970), Borch C. (1975), Wetzenstein W. (1975,1977), Ituralde-Vinent M., De La Torre A., Quintana Ma. E., Morell R. (1984), Schmid H. (1987), Ваканяц Б., Иоксимович Д. (1979). Представленный материал не имел обзорно-аналитического характера, он представлял узко специализированную информацию по разным вопросам магнетитоносности в кайнозое. Начиная с 70-х годов прошлого столетия, многие советские ученые, работая за рубежом, изучали месторождения магнетита данного типа, результаты которых опубликованы в работах В.П. Петрова (1979, 1991), В.И. Финько (1973, 1991), А.И.Шевелева (1986, 2003). Следует отметить разносторонность и детальность этих исследований, что дало достаточно полное представление о характере оруденения и позволило автору

систематизировать и осмыслить собранный материал. С конца 80-х годов прошлого столетия специалисты магнезиального сектора ВНИИгеолнеруд Мингео СССР провели сбор и анализ доступного материала по зарубежным месторождениям магнезита и установили некоторые закономерности размещения и условия локализации магнезитовых руд в осадочных толщах кайнозоя, разработали мелкомасштабные прогнозные критерии оруденения и выделили перспективные площади, которые рекомендовали на проведение тематических работ (при активном участии автора). Работы были начаты, но распад СССР и стагнация геологических исследований привели к остановке всех геологических работ в данном направлении. Спустя десятилетия, в период подъема экономики России появилась возможность возобновления исследований кайнозойских магнезитов и возможность их обнаружения на территории нашей страны.

В **Главе 2** приводятся геологические данные по зарубежным месторождениям кайнозойских магнезитов и их классификация по способу образования (осаждения). Здесь представлен материал по двум десяткам месторождений, расположенных на разных континентах. К числу **хемогенных** относятся месторождения, расположенные в долине р. Ибар в Сербии – Бела Стена, Илиньяча, Рвати, Бель Камень, Шилопай; в Северной Америке – Овертон и Нидлс; на юге Австралии – в прибрежной зоне лагуны Куронг в условиях эффемеральных озер. Магнезиты этих месторождений образовались при химическом способе переноса и отложения вещества Са-Mg бикарбонатными подземными водами, гипогенными растворами и холодными метеорными водами, насыщенными ионами Mg, и другими инфильтрационными потоками, которые, проходя через толщи богатые магнием, обогащаются им с последующей аккумуляцией в наиболее благоприятных условиях мелководных озер.

Второй тип кайнозойских месторождений – **кластогенный** - образуется за счет механического переноса гипергенного магнезитового материала с ультрабазитового субстрата поверхностными водными потоками



(речными, дождевыми и т. д.). К ним относятся месторождения озерных фаций Македонии (Северная Греция) – Сербия и Аяни; месторождение Реденсион, расположенное в центральной части Кубы, в провинции Камагуэй; в Австралии в штате Квинсленд - месторождения Марлбороу, Канвеара, Меримел и Ямба. Кроме месторождений магнезита озерных фаций к кластогенным можно отнести месторождения речных фаций, к примеру, месторождение магнезита Маунтен-Крик в штате Квинсленд (Австралия).

К **хемо-кластогенному (смешанному)** типу магнезитонакопления в кайнозойских комплексах можно, в качестве примера, отнести месторождение магнезита озера Салда в Турции и магнезитовые залежи в районе деревни Неваде (Сербия). Здесь совместно отлагались хемогенные и кластогенные магнезиты, образуя брекчиевидные и комковатые текстуры, где обломочная часть представлена белым терригенным магнезитом размером от долей мм до более 1см, а цементирующая часть сложена темно-серым хемогенным магнезитом с обильной примесью кремнистого вещества и органического пигмента.

В **Главе 3** охарактеризована кора выветривания ультрабазитов – как источник материала для кайнозойского магнезитонакопления (на примерах Кимперсайского и Беденского массивов). Все известные кайнозойские месторождения и проявления магнезита расположены вблизи, на небольшом удалении или непосредственно на ультрабазитовых массивах, которые являются основным источником магния и его фазовых вариаций для формирования осадочного магнезита. Объектами изучения гипербазитов являются подверженные в разной степени выветривания ультрабазитовые массивы. Развитый профиль коры выветривания характерен для гипербазитов Кимперсайского массива в Казахстане, менее развит на Беденском серпентинитовом массиве Северного Кавказа и на офиолитах района озера Салда в Турции. Автором проведены полевые исследования данных объектов с описанием профилей выветривания, зон минерализации и

процессов гипергенеза. Петрографические разновидности магнезитов и вмещающих пород, выделенные на объектах, проанализированы комплексом исследований – химический и спектральный анализы, рентгенофазовый анализ, оптическая и электронная микроскопия.

В результате проведенных исследований объектов с разными стадиями процесса гипергенеза по офиолитовым комплексам установлены определенные особенности их строения, состава и условий преобразования:

- первичный состав гипербазитов – дуниты, пироксениты, перидотиты и их разновидности;
- вторичные изменения привели к образованию серпентинитов и амфиболитов (подчиненное значение);
- по серпентинитам в коре выветривания развиваются зоны карбонатизации с магнезитом (гидромагнезитом) трещино-желвакового типа;
- щелочная среда минералообразования с pH в интервале 8-9;
- химический баланс оксида магния в питающем субстрате составляет 38-44 % (силикатные, карбонатные и прочие фазы);
- магнезиальные карбонаты имеют белый цвет с сероватыми и слабо желтоватыми оттенками, скрытокристаллическую структуру, желваковую (гороховидную, нодулевую и т. п.) и трещиноватую текстуры;
- геохимическая специализация магнезитоносных серпентинитов определяется повышенными содержаниями малых элементов, таких как – Co, Cr, Ni;
- в развитой коре выветривания (Кимперсайский массив) из карбонатов магния широко развит магнезит, в менее развитой коре выветривания (Беденский массив и офиолиты оз. Салда) преобладает гидромагнезит;
- морфология нанокристаллов рудообразующих карбонатов магния в зоне гипергенеза различна: магнезит (Кимперсайский массив) имеет кристаллическую ромбоидальную и плоскую (по толщине) форму со структурной размерностью в интервале  $< 0,5 - 2$  мкм, образуя плотную

фарфоровидную массу; гидромагнетит (Беденский массив и офиолиты оз. Салда) является метастабильным карбонатом с хлопьевидной и пластинчатой структурой размерностью  $< 0,5 - 8$  мкм и неоднородным (сфероидальным) внутренним строением, образуя рыхлые и пористые комковатые стяжения.

В **Главе 4** приводится литологическая характеристика рудоносных толщ кайнозойских магнезитовых месторождений на примере озера Салда в Турции, где автор лично занималась изучением магнезитоносных отложений. Объект является весьма наглядным для исследования структурного, физико-химического, литологического и других аспектов магнезитового рудообразования и создания общей модели магнезитообразования в кайнозойских комплексах.

Магнезитонакопление находится в межгорной впадине, вытянутой в северо-восточном направлении с несколько зауженной южной частью. В ее северном обрамлении находится озеро Салда (размером 7X8 км и глубиной 190 м). Окружающие озеро массивы сложены серпентинитами (амфиболиты – фрагментарно), подверженными процессами выветривания. Они являются основным источником магнезиального материала и питающей областью для формирования магнезитоносных озерных отложений. Исследования офиолитов оз. Салда комплексом аналитических методов позволили выявить минералого-химические особенности питающего субстрата.

В работе представлены разрезы кайнозойских толщ по западной и южной частям береговых линий, где они находятся в естественном залегании, в то время как, в восточной и юго-восточной частях они перекрыты эоловыми наносами в виде бархан из пелитоморфного гидромагнезитового материала. Северная часть озера практически не доступна и не проходима.

Осадочные отложения образуют две озерные террасы – верхняя (на высоте порядка 20 м над уровнем воды) и нижняя (образует береговой уступ высотой до 4-5 м), являющиеся магнезитоносными. Гидромагнетит в отложениях озера Салда встречается в разных структурно-текстурных

особенностях, из которых можно выделить следующие основные типы гидромагнетитовых руд: «коралловидный», «гравийный», «песчаный», «глинистый» и промежуточные разности – «песчано-гравийный», «алевро-глинистый» и другие. В главе дается литолого-минералогическая характеристика всех литологических разностей исследуемых разрезов комплексом традиционных методов исследования (полевое описание, оптическая микроскопия, рентгенофазовый анализ, химический и спектральный анализы, гранулометрический анализ – ситовой и пипеточный, электронная микроскопия). Главное внимание уделялось определению минерального состава, структурно-текстурных особенностей, геохимической специализации, конкретизации грансостава рыхлых отложений и выявлению закономерности распределения гидромагнетита по фракциям. Установлены особенности литологического состава террас.

**Верхняя терраса** представлена сводным разрезом (сверху-вниз) – гидромагнетит «гравийный» с нодулево-скорлуповатым строением, мергель, гравелиты, зеленовато-серая глина с примесью песчано-гравийного серпентинитового материала, грубообломочная брекчия с алевро-песчано-гравийным цементом, которые располагаются на серпентинитовом (амфиболитовом) ложе. Мощность отложений составляет до 7-9 м (варьирует по латерали) (рис. 1).

**Нижняя терраса** представлена сводным разрезом (сверху-вниз) – гидромагнетиты белого цвета, коралловидной и нодулевидной текстуры, гидромагнетит «глинистый», чередование прослоев гидромагнетита (белого) «гравийного» и «песчаного» с серпентинитовой (черная) доминантой, ниже эпизодически встречается слой гидромагнетита «глинистого», далее гидромагнетит «песчано-гравийный» и «песчано-глинистый», который прослеживается даже по мелководью (рис. 2).

Магнетит и его минеральные производные присутствуют в различных фракциях среди рыхлых образований: от пелитовой и алевритовой до псаммитовой и псефитовой. Карбонаты белого и серовато-белого цвета,



Рис.1. Разрез «А» верхней террасы по южной части западного берега оз. Салда

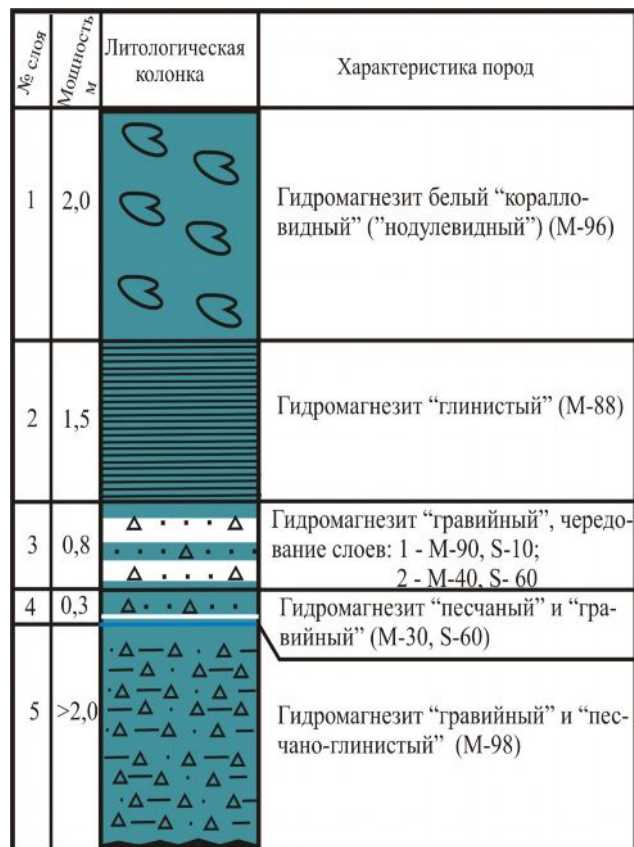


Рис. 2. Разрез «Б» нижней террасы по южной части западного берега оз.Салда

### Условные обозначения к рисункам 1 и 2

- грубообломочный материал серпентинитовый (10-50 см)
- щебень серпентинитовый (1-10 см)
- гравий серпентинитовый, амфиболовый (1-10мм)
- гидромагnezит "гравийный" (1-10мм)
- гидромагnezит "кораллоидный"
- песок серпентинитовый
- гидромагnezит "песчаный"
- алевро-песок серпентинитовый
- гидромагnezит "алевро-песчаный"
- гидромагnezит "алевро-глинистый"
- глина серпентинитовая
- гидромагnezит "глинистый"
- мергель (арагонитовый)
- серпентинит (амфиболит)
- содержание в породе (%): М - магнизиальных карбонатов, S - магнизиальных силикатов
- уровень воды озера

скрытокристаллической структуры, текстуры - массивная, слоистая и нодулевая, коралловидная. Каких-либо органических остатков и фауны в отложениях не обнаружено. Геохимическая специализация осадочных отложений по литологическим разностям представленных разрезов отражает наследственную генетическую связь их с первичным субстратом серпентинизированных ультрабазитов. Повышенными содержаниями среди малых элементов пользуются Ni, Co, Cr. Содержания их в осадках даже превосходят значения в материнских серпентинитах, что говорит о накопительном процессе этих элементов в осадочном бассейне. Эпизодически высокими содержаниями малых элементов в осадочных отложениях озера Салда пользуются Ba, Mn, Ti, Y, Cu. Содержание этих элементов спорадически превышают фоновые значения на один порядок.

Рудовмещающей матрицей являются терригенные породы из серпентинитов и продуктов их изменения, образованные из прилегающей к аккумулятивному бассейну ультрабазитовой формации Arap Oemer Deresi.

Гидрологические исследования на оз. Салда. В пределах нижней террасы по пляжной зоне обнаружены родниковые источники, где отобрана проба воды. Химический анализ показал повышенную минерализацию ее до  $950,0 \pm 47,5$  мг/л, и преимущественно магний-гидрокарбонатный состав воды с щелочным балансом (pH – 8,8) и общей жесткостью – 10,7 Мг-экв/дм<sup>3</sup>. С южного берега озера с мелководной зоны была взята проба воды (поверхностная). Химический анализ этой пробы показал содержание общей минерализации до 2220 мг/л, натрий-магниевый хлорид-гидрокарбонатный состав воды, щелочной баланс среды (pH 9,2) и общую жесткость 27,3 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Из этого следует, что накопительный ионный баланс воды озера Салда имеет высокий потенциал ионного насыщения, что позволяет химическому осаждению магнезиальных карбонатов. Свидетельством тому служат белые гидромагнезитовые «рубашки» на черных серпентинитовых обломках в мелководной части озера.

### Микробиологические исследования магнезитов (гидромагнезитов)

Выявлена микробиологическая активность бактериальных колоний аэробных гетеротрофов р. *Bacillus* sp., и р. *Pseudomonas* sp. В результате жизнедеятельности бактерий выделяется активный углерод, который, соединяясь с кислородом воздуха, образует оксид углерода, участвующий в процессе карбонатообразования (в данном случае - магнезиальных карбонатов). Среди береговых отложений оз. Салда выделяется активная микробиологическая зона, расположенная выше уровня воды, где микро органическая деятельность бактерий весьма активна и приводит к формированию «гравийных» и «коралловидных» гидромагнезитов.

В **Главе 5** дается генерализованная модель (рис. 3) магнезитообразования в кайнозойских осадочных комплексах озерных и речных фаций по условиям формирования и размещения известных зарубежных месторождений магнезита данного типа. В формировании магнезитовых месторождений в кайнозое принимает участие комплекс последовательно-временных процессов, которые условно можно выделить в три основных этапа: образование магниеносного субстрата, транспортиция магнийсодержащего материала и аккумуляция его в литологических комплексах. Процессы проходят в определенных условиях и с некоторыми природными вариациями по объектам в зависимости от тех или иных геологических условий.

Особенностью размещения кайнозойских магнезитоносных отложений является их пространственная и генетическая связь с ультраосновными массивами (месторождения осадочного типа располагаются или вблизи них, или непосредственно на них, что касается как хемогенных, так и кластогенных типов). Процесс серпентинизации в полной мере прошел по первичным гипербазитовым породам, и образовавшийся серпентинит имеет, главным образом, лизардитовый минеральный состав с подчиненным количеством (первые проценты) антигорита и хризотила. Потенциально магниеносный офиолитовый субстрат обладает определенными параметрами

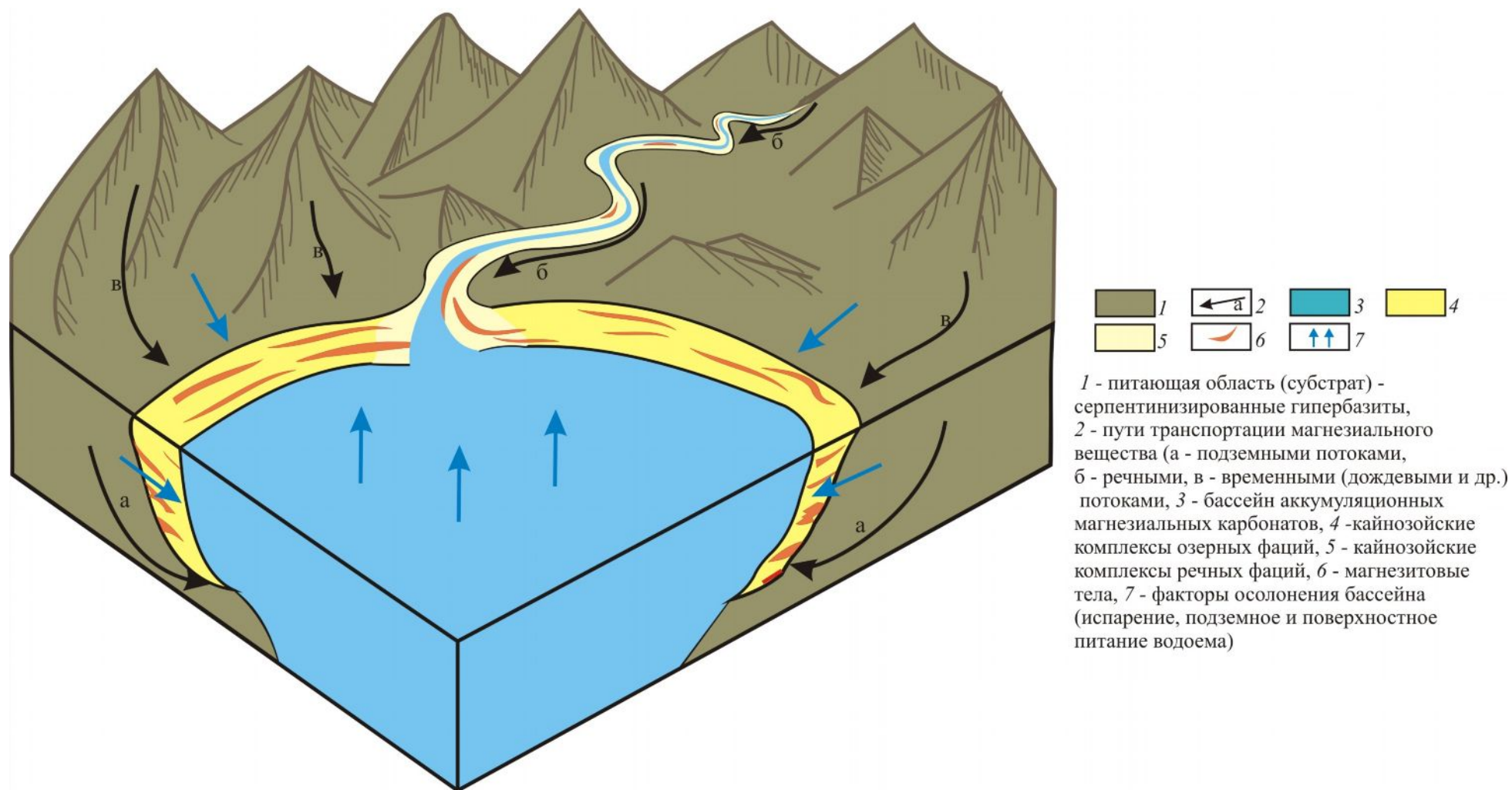


Рис. 3. Модель магнезитообразования в кайнозойских комплексах озерно-речных фаций



и характеристиками, к которым относятся: развитие зоны карбонатизации с образованием группы магнезиальных карбонатов – магнезит, гидромагнезит, пироаурит, несквегонит, хантит и другие, формирование которых проходит в щелочной среде с pH – 8-9; химический баланс оксида магния в породах должен составлять 38-44%, что является суммарным показателем как силикатной, так и карбонатной составляющей; геохимическая специализация магнезитоносных серпентинитов (амфиболитов) определяется повышенными содержаниями (на один-два порядка от фоновых значений) сидерофильных (по В.М. Гольдшмидту) малых элементов – Ni, Co и литофильного малого элемента – Cr. Магнезиально-карбонатный материал при насыщенных концентрациях в мигрирующих проточных и поровых растворах осаждается среди серпентинитовых пород, выполняя трещины, пустоты, каверны и прочие полостные формы, которые широко развиты в зоне гипергенеза. Текстуры, образованные магнезиальными карбонатами, имеют сетчато-прожилковатые, штокверковые, гнездовидные, желваковые, ячеистые разновидности. Структурные особенности этих карбонатов представлены скрытокристаллическими агрегатами, которые на макро- и микроскопическом уровнях образуют округло-сферические, нодулевые формы. Сформировавшийся магнезитоносный субстрат на офиолитовых комплексах должен иметь смежную зону разгрузки, которой могут быть бассейны озерной и речной системы.

Транспортиция магнезита (и его аналогов) от источника (области сноса) до бассейна рудонакопления является следующим этапом в генерализованной модели кайнозойского магнезитообразования. Здесь можно выделить два способа переноса вещества: подземный и поверхностный, которые отличаются как по форме, так и по содержанию. Поверхностная транспортиция магнезитового вещества связана с водными потоками (постоянными – речная гидросеть и временными – сезонные и суточные осадки), которые переносят, главным образом, терригенный

материал, содержащий гипергенный магнезит, и формируют кластогенный тип месторождения магнезитов среди кайнозойских комплексов.

Подземная форма транспортиции магнезиального вещества связана, главным образом, с химическими процессами. Химический способ переноса предполагает магний-ионную форму рудного вещества и пространственно-проходящую водную среду самого разного происхождения. Здесь принимают участие неглубокие Са – Mg бикарбонатные подземные воды (остаточные озера лагуны Куронг), гипогенные растворы и холодные метеорные воды, обогащенные ионами Mg (месторождение Карент-Крик) и другие инфильтрационные потоки, которые, проходя через толщи, богатые магнием, обогащаются им (Сербская группа месторождений, озеро Салда в Турции) с последующей аккумуляцией в наиболее благоприятных условиях мелководных озер. В этих случаях происходит формирование хемогенных месторождений магнезита в кайнозойских комплексах. Химический состав подземных вод, питающих бассейн седиментации (на примере оз. Салда), отличается резко повышенным балансом ионов магния, натрия, а также хлоридов и гидрокарбонатов.

В природе известны случаи, когда в процессе магнезитообразования в кайнозойских литологических комплексах участвуют как поверхностные, так и подземные воды, питающие седимент магнезитсоставляющими компонентами. Оруденение имеет комплексный характер и представлено хемо-кластогенным типом. Примерами служат месторождение Неваде (Сербия), отложения озера Салда (Турция) и др. Оруденение смешанного типа имеет ряд отличительных признаков: развиты брекчиевидные текстуры руд, где обломочная часть представлена обломками терригенного магнезита разного размера (от гравийной до галечно-щебеночной и более фракций), а цементирующая часть выполнена хемогенным магнезитом; хорошо окатанная галька серпентинитовой породы обтянута «рубашкой»-корочкой белого магнезита (гидромагнезита) и др.

Бассейн аккумуляции, как заключительный этап в общей схеме кайнозойского магнетитообразования, представляет собой континентальную депрессионную структуру низкого (второго и даже третьего) порядка, к которым можно отнести межгорные тектонические впадины и прогибы, либо опущенные тектонические блоки и прочие изолированные водоемы. Приуроченность рудных тел внутри структуры имеет строго координационное положение – краевые и периферийные части ее, наиболее приближенные к потенциальному источнику магнетиального материала. Процесс осадконакопления проходит в условиях озерных и речных фаций, при этом бассейны развиваются в регрессивном режиме. Магнетитонакопление проходит в условиях как аридного, так и гумидного климата. В первом случае литологический разрез представлен терригено-карбонатным составом, во втором – карбонатно-терригенным материалом с обилием лигнитовых пропластов.

Минеральный состав рудной массы не отличается большим разнообразием: большую часть (70-90%) составляют магнетит или гидромагнетит и реже гунтит (хантит), и резко подчиненное количество приходится на магнетиальные карбонаты - несквегонит, гидроталькит, пироаурит, прочие минералы – доломит, кальцит, арагонит, минералы группы серпентина (доминирует лизардит), нонтронит, кварц-опаловые минералы, оксиды и гидроксиды железа, хлорит.

Генерализованная модель магнетитообразования в кайнозойе позволит в дальнейшем найти свое широкое научное и практическое применение в проведении геологоразведочных (прогнозно-поисковых) работ на обнаружение объектов данного геолого-промышленного типа магнетита на территории России, что послужит укреплению отечественной минерально-сырьевой базы данного сырья.

В **Главе 6** на основе общих закономерностей размещения кайнозойских магнетитовых месторождений установлены основные критерии магнетитоносности в кайнозойских комплексах, в том числе,

стратиграфический, структурно-тектонический, магматический, литолого-фациальный и другие.

Стратиграфический критерий. Все известные магнезитовые месторождения зарубежья приурочены к определенным стратиграфическим уровням кайнозойского возраста. На данный момент их насчитывается четыре: миоценовый, нижнеплиоценовый, плиоцен-плейстоценовый и самый молодой голоценовый. Возможно выявление дополнительных стратиграфических единиц среди кайнозойских магнезитоносных комплексов.

Структурно-тектонический. Магнезитоносные комплексы приурочены к кайнозойским впадинам, прогибам, либо опущенным тектоническим блокам (к небольшим изолированным континентальным структурам).

Магматический критерий. Большое значение при размещении магнезитовых месторождений имеют крупные ультрабазитовые комплексы, минеральный состав и гипергенные изменения которых в той или иной степени определяют размеры и степень оруденения близлежащих кайнозойских толщ. Все магнезитоносные отложения расположены вблизи ультрабазитовых массивов или непосредственно на них, что подтверждается многими примерами (в Сербии, Австралии, Греции, Турции и т.д.). Наиболее благоприятными являются дуниты и гарцбургиты, интенсивно подверженные серпентинизации, а также магнезитовой гипергенной минерализации.

Литолого-фациальный критерий. Кайнозойские магнезиты связаны с определенными литологическими комплексами озерных и речных фаций. Мелководные континентальные озера предрасполагали к накоплению карбонатно-терригенных отложений в гумидных палеоусловиях и терригенно-карбонатных – в аридных.

Структурно – текстурный критерий. По этим признакам различают несколько типов руд в зависимости от минерального состава и вмещающих пород. Тонкозернистые и скрытокристаллические гидромагнезитовые и гунтитовые руды образуют нодулевые и желваковые формы в глинистых

породах и гравийно-обломочные в песчано-глинистых. Кripto- и микрокристаллические, пелитоморфные магнезитовые руды более разнообразны в текстурных проявлениях: это массивные или слоистые разности в карбонатах (доломитах), в них же брекчиевидные руды, нодулевые (коралловидные) текстуры в мергелях и глинистых доломитах, а так же песчано-гравийные отложения современных (голоценовых) озер.

Геохимический критерий. Отмечается геохимическая специализация рудоносных кайнозойских пород на мафитовые малые элементы, такие как Co, Ni, Cr.

Гидрогеологический критерий. Перспективность площади в кайнозойской структуре может определяться при гидрогеологических исследованиях подземных вод. Присутствие гидрокарбонатных (хлорит-гидрокарбонатных) вод с повышенным ионным балансом магния (натрий-магния), которые образуют ореол распространения, в той или иной степени конкретизируют перспективность площади.

Гидродинамический критерий. Гидродинамика потока определяет дальность переноса и степень сортировки (дифференциации) вещества. Спокойные потоки с ламинальным движением более градируются сортируют терригенный материал и переносят его на значительные расстояния. Напротив, быстрые турбулентные потоки, образующиеся при большом уклоне руслового дна, склоны к плохой сортировке материала, что приводит к рассеянию и загрязнению осаждающегося рудного вещества.

Геоморфологический критерий. Кайнозойские магнезитоносные отложения являются самыми молодыми осадочными породами озерных и речных фаций, поэтому они проявляются в строении современного рельефа. Наиболее перспективными являются следующие структурные элементы рельефа: современные и древние русла речных долин (места излучен, меандр – фактор концентрации терригенного магнезита), образования надпойменных террас в непосредственной близости от ультрабазитовых водоразделов. В

областях развития озер к таким элементам можно отнести: озерные, аккумулятивные и погребенные террасы.

Все выделенные критерии взаимосвязаны и отражают определенную позицию в размещении продуктивных кайнозойских магнезитоносных комплексов.

**Глава 7.** На территории России к перспективным площадям, благоприятным на обнаружение кайнозойских магнезитов в палеоген-неогеновых и четвертичных комплексах, относятся – площадные объекты, расположенные в Уральском (в средней и южной части Урала), Сибирском (на юге Красноярского и севере Алтайского краев, в Иркутской и Читинской областях, а также в Республиках Бурятия и Тыва), Дальневосточном (в Хабаровском крае, Республике Саха, на о. Сахалин, в Магаданской области и на Чукотке) и Северо-Западном (в Мурманской области) федеральных округах (рис. 4). Приводятся краткие геологические данные в соответствии с проявлением разработанных критериев магнезитоносности более двух десятков перспективных объектов. Каких-либо детальных геологических работ по оценке перспектив кайнозойских осадочных комплексов на магнезит на данных площадях не проводилось. Поэтому необходимо выполнить мелко и крупномасштабные прогнозно-минерагенические исследования, в зависимости от степени перспективности, размера площади и т.д., особенно в районах, приближенных к возможным потребителям - металлургическим центрам Сибири, Урала, Северо-Западного региона и Дальнего Востока. После установления наиболее перспективных площадей, на них целесообразно поставить специализированные поисковые и оценочные работы.



Рис.4. Карта перспективности Российской Федерации на кайнозойский магнезит

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Образование кайнозойских терригенно-карбонатных магнетитовых комплексов определяется сочетанием вещественного состава продуктов разрушения, сноса и структурным типом бассейна аккумуляции.

2. Для формирования кайнозойских магнетитовых комплексов необходимо наличие трех ключевых звеньев, последовательно-временное сочетание которых приводит к образованию месторождений: источник магния, способ (форма) переноса и бассейн аккумуляции.

3. Источником вещества (и его фазовых вариаций) являются серпентинизированные и амфиболизированные гипербазиты с развитой зоной магнезиальной карбонатизации в области гипергенеза. Минеральный состав серпентинитов преимущественно лизардитовый и хризотил-лизардитовый, амфиболитов – актинолитовый.

4. Формой транспортировки магнезиального материала являются водные потоки: поверхностные - переносят терригенный рудный материал, образуя кластогенные залежи магнезита (гидромагнезита); подземные - инфильтрационные потоки, которые, проходя через толщи богатые магнием, насыщаются им с последующим осаждением в наиболее благоприятных условиях мелководных озер, образуя хемогенный тип оруденения. При совместной активности поверхностных и подземных вод образуется смешанный тип оруденения – хемо-кластогенный, где проходит химическое осаждение и терригенное отложение магнезита.

5. Бассейном аккумуляции кайнозойских магнезиальных карбонатов являются континентальные мелководные озера и речные долины, в структурах межгорных впадин, прогибов, либо опущенных тектонических блоков, занимая в них периферийные позиции.

6. На данный момент насчитываются четыре стратоуровня, к которым приурочены мировые месторождения магнезита в кайнозое: миоценовый



(группа месторождений Сербии - Бела-Стена, Илиньяча, район Инна Динаритес и др.), нижнеплиоценовый (месторождение Карент-Крик - Северная Америка, шт. Невада), плиоцен-плейстоценовый (Северная Греция - месторождения Сербия и Аяни) и самый молодой голоценовый (месторождения Австралии - Канвеара, остаточные озера лагуны Куронг и Турции - озеро Салда).

7. Магнетитонакопление может проходить как в аридных, так и в гумидных современных и палеоклиматических условиях, при этом разрезы кайнозойских литологических карбонатно-терригенных комплексов существенно отличаются с преобладанием карбонатной части в аридных и терригенной части в гумидных палеосредах.

8. Минеральный состав магнезиальных карбонатов зоны гипергенеза и осадочного бассейна на объектах практически всегда совпадает и представлен - гидромагнетитом –  $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$ , пироауритом –  $Mg_6Fe_2(OH)_{16}(CO_3) \cdot 4H_2O$ , гидротальцитом -  $Mg_6Al_2(OH)_{16}CO_3 \cdot 4H_2O$ , гунтитом (хантитом) -  $Ca Mg_3(CO_3)_4$ , несквегонитом -  $MgCO_3 \cdot 3H_2O$ , магнезитом -  $MgCO_3$  и доломитом –  $CaMg(CO_3)_2$ . Рудные тела образуют магнезит, гидромагнезит, гунтит (хантит), остальные имеют резко подчиненное значение.

9. Морфология рудных тел магнезитов (и его аналогов) характеризуется линзообразными или пластообразными формами мощностью от десятков сантиметров до 70 метров. Проявляется макро- и микроритмичное чередование магнезитовых слоев и вмещающих пород с образованием серий мощностью до 60-70 м, представляющих «слоеный пирог», характерный для озерных комплексов.

10. По текстурным признакам различают типы руд в зависимости от их минерального состава и вмещающих пород. Тонкозернистые и скрытокристаллические гидромагнезитовые и гунтитовые руды образуют нодулевые и желваковые формы в глинистых породах и гравийно-обломочные в песчано-глинистых. Крипто- и микрокристаллические,

пелитоморфные магнезитовые руды проявляются в массивных и слоистых карбонатах (доломитах), в них же брекчиевидные руды. Выделяются нодулевые (коралловидные) текстуры в мергелях и глинистых доломитах, а так же песчано-гравийные гидромагнезитовые отложения современных (голоценовых) озер.

11. Структурные особенности магнезиальных карбонатов в кайнозойских комплексах отличаются скрытокристаллическими разностями. Электронная микроскопия показала, что магнезиты имеют кристаллическую ромбоидальную и плоскую (по толщине) форму со структурной размерностью в интервале  $< 0,5 - 2$  мкм, образуя плотную фарфоровидную массу, гидромагнезит является метастабильным карбонатом с хлопьевидной и пластинчатой структурой размерностью  $< 0,5 - 8$  мкм и неоднородным сфероидальным внутренним строением, образует рыхлые и пористые комковатые стяжения.

12. Выделены критерии магнезитоносности кайнозойских осадочных комплексов: структурно-тектонический, магматический, стратиграфический, структурно-текстуальный, геохимический, гидрологический, гидродинамический, геоморфологический.

13. По установленным факторам магнезитоносности кайнозойских литологических комплексов можно выявить перспективы обнаружения месторождений магнезита данного типа на территории Российской Федерации. К перспективным территориям можно отнести объекты (порядка трех десятков), которые по геологическому строению содержат все признаки магнезитоносности в кайнозое. Применяя метод аналогии с мировыми месторождениями, сюда относятся кайнозойские структуры Сибирского, Уральского, Дальневосточного и Северо-Западного федеральных округов.

## СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Шевелев А.И., Щербакова Т.А. Геологические предпосылки создания промышленности высокомагнезиальных огнеупоров на востоке страны / Геология и геофизика, №12, 1989.- С. 92-95
2. Щербакова Т.А., Шевелев А.И. Методика оценки кайнозойских комплексов на магнезит // Геология и прогнозирование месторождений полезных ископаемых Восточной Сибири: Тезисы докладов к региональной конференции. Иркутск, 1989.- С. 31-32.
3. Шевелев А.И., Щербакова Т.А. Геологическое строение и локализация кайнозойских магнезитов // Высокомагнезиальное минеральное сырье. М.: Наука, 1991.- С. 153-157
4. Шевелев А.И., Щербакова Т.А. Перспективы юга Западной Сибири на магнезит // Материалы Второй Международной конференции: «Промышленные минералы и научно-технический прогресс» - М.: ГЕОС, 2007.- С. 104-105.
5. Шевелев А.И., Щербакова Т.А. Возможности создания сырьевой базы магнезиальных огнеупоров на Северном Кавказе // Материалы Второй Международной конференции: «Промышленные минералы и научно-технический прогресс» - М.: ГЕОС, 2007.-С. 102-104.